

# ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА НА МЕХАНИЗМ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ И МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПЛАСТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СТАЛИ 110Г13 ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*Кашипов М.Р.<sup>1</sup>, Клевцова Н.А.<sup>1</sup>, Фесенюк М.В.<sup>1</sup>, Задорожный В.Ю.<sup>2</sup>,  
Фролова О.А.<sup>1</sup>, Колесник А.А.<sup>1</sup>*

*Руководитель – проф., д.т.н. Клевцов Г.В.*

<sup>1</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург

<sup>2</sup> Государственный технологический университет (МИСиС), Москва  
Sham\_87@bk.ru

Целью настоящей работы является исследование механизма ударного разрушения аустенитной стали 110Г13 с различным размером зерна и распределения мартенситных фаз в пластической зоне под поверхностью изломов при температуре -196 °С.

*Материал и методики исследования.* В качестве исследуемого материала использовали аустенитную сталь 110Г13 со средним размером зерна 200, 120 и 60 мкм. Измельчение зерна проводили путем многократнойковки. После закалки от температуры 1100 °С в воде данная сталь имела однофазную структуру  $\gamma$ -железа. Охлаждение образцов до температуры -196 °С не приводило к мартенситным превращениям.

Образцы размером 10×10×55 мм с V-образным концентратором напряжения охлаждали в жидком азоте и производили ударное разрушение на копре МК-30. Полученные изломы исследовали методами макро- и микрофрактографии. Глубину пластической зоны под поверхностью изломов и распределение мартенситных фаз в данной зоне определяли рентгеновским методом.

Микрофрактографические исследования проводили в растровом микроскопе JSM-6092, рентгеноструктурный анализ изломов – на дифрактометре ДРОН-4-07.

*Результаты исследования и их обсуждение.* Из таблицы 1 видно, что с уменьшением размера зерна ударная вязкость стали (KCV) имеет тенденцию к уменьшению.

Таблица 1. Среднее значение размера зерна и ударной вязкости стали 110Г13Л при температуре -196 °С

$d_{cp}, \text{мкм}$	200	120	60
KCV, МДж/м <sup>2</sup>	0,25	0,23	0,14

Все ударные изломы стали 110Г13, полученные при температуре -196 °С, имеют макрохрупкое кристаллическое строение. Губы среза и утяжка у поверхности излома отсутствуют.

Микрофрактографический анализ показал, что сталь 110Г13 с размером зерна 200 мкм разрушается преимущественно по механизму межзеренного хрупкого разрушения. В очаге разрушения (рис. 1,а) можно наблюдать зону длиной 0,3...0,4 мм (назовем ее зоной  $\theta_1$ ), образование которой, в отличие от обычно образующейся в очаге разрушения вязкой зоны сдвига  $\theta$ , произошло по механизму микроскола. В центральной части излома разрушение хрупкое межзеренное.

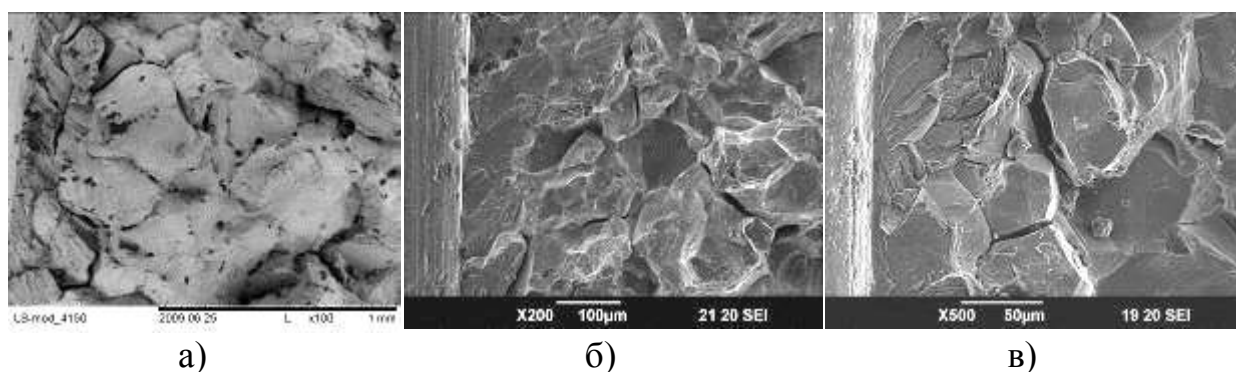


Рисунок 1. Микрорельеф очага ударного разрушения стали 110Г13 с размером зерна 200 мкм (а), 120 мкм (б) и 60 мкм (в):  
а –  $\times 100$ ; б –  $\times 1000$ ; в –  $\times 4000$

В очаге разрушения стали 110Г13 с размером зерна 120 мкм также можно выделить зону  $\theta_1$ , длиной 0,15...0,25 мм, с хрупким разрушением по механизму скола (рис. 1,б). За пределами данной зоны доминирующим механизмом разрушения является межзеренное хрупкое разрушение. Хорошо видны вторичные трещины и небольшие участки с ямочным микрорельефом. Можно предположить, что границы зерен, возможно, были ослаблены, например, в результате многократнойковки.

Аналогичный микрорельеф имеют и изломы стали со средним размером зерна 60 мкм. В очаге разрушения хорошо видна зона  $\theta_1$  длиной 0,05...0,1 мм (рис. 1,в). За пределами данной зоны разрушение произошло по механизму межзеренного хрупкого разрушения. Видны вторичные трещины, однако участки с ямочным микрорельефом практически не встречаются.

На примере стали с размером зерна 200 мкм определим рентгеновским методом глубину пластической зоны  $h_y$  под поверхностью изломов и распределение мартенситных фаз в данной зоне.

Результаты исследования показали, что глубина пластической зоны под поверхностью изломов составляет 40 мкм, что в 5 раз меньше среднего размера зерна в стали.

В пластических зонах под поверхностью изломов рентгеновским методом были обнаружены  $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$  превращения. Установлено, что максимальное количество  $\alpha$ -мартенсита образуется на поверхности излома,

а затем непрерывно уменьшается вглубь излома. Распределение  $\varepsilon$ -мартенсита отличается тем, что на поверхности излома  $\varepsilon$ -мартенсит отсутствует, затем его количество увеличивается, достигая максимума на некоторой глубине под поверхностью излома, где искажение кристаллической структуры меньше, чем на поверхности. Затем количество  $\varepsilon$ -мартенсита вновь убывает по глубине и на границе пластической зоны становится равным нулю.

#### *Выводы*

1. В очаге разрушения стали 110Г13 выявлена зона  $\theta_1$  длиной в 1...2 зерна с транскристаллитным хрупким разрушением.
2. Независимо от размера зерна сталь 110Г13 разрушается по механизму межзеренного хрупкого разрушения. При разрушении стали с размером зерна 200 мкм центральная часть излома состоит из гладких фасеток межзеренного хрупкого разрушения; вторичных трещин по границам зерен не наблюдается. В центральной части изломов стали с размером зерна 120 мкм видны вторичные трещины по границам зерен и участки с ямочным микрорельефом. В центральной части изломов стали с размером зерна 60 мкм – фасетки межзеренного хрупкого разрушения и вторичные трещины.
3. Показано, что глубина пластической зоны под поверхностью изломов стали 110Г13 с размером зерна 200 мкм в 5 раз меньше среднего размера зерна в данной стали.
4. Рентгеновским методом исследовано распределение  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -мартенсита в пластических зонах под поверхностью изломов. Максимальное количество  $\alpha$ -мартенсита обнаружено на поверхности изломов, затем его количество непрерывно уменьшается от поверхности вглубь излома. Максимальное количество  $\varepsilon$ -мартенсита обнаружено на некоторой глубине под поверхностью излома, где искажение кристаллической структуры меньше, чем на поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (проект АВЦП № 1383).

#### *Используемые литературные источники:*

1. Клевцова Н.А., Фролова О.А., Клевцов Г.В. Разрушение аустенитных сталей и мартенситные превращения в пластических зонах. - М.: Изд-во Академии Естествознания, 2005.- 155 с.
2. Сагарадзе В. В., Уваров А. И. Упрочнение аустенитных сталей. - М.: Наука, 1989.- 270 с.
3. Клевцов Г.В., Ботвина Л.Р., Клевцова Н.А., Лимарь Л.В. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций. - М.: МИСиС, 2007.- 264 с.